

УДК 621.9

Ю.Г. Гуцаленко, Харьков, Украина

ПРОГНОСТИЧЕСКИЙ СОПОСТАВИТЕЛЬНЫЙ РАСЧЕТ РАБОЧЕГО РЕСУРСА АЛМАЗНО-АБРАЗИВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ИЗ ШЛИФОВАЛЬНЫХ ПОРОШКОВ С РАЗЛИЧНЫМ ЗАОСТРЕНИЕМ ЗЕРЕН

У геометрично визначеної системі представлення ріжучої частини алмазного зерна і його розташування у шліфувальному крузі, стосовно високопродуктивним технологій сталого алмазного шліфування зі стабільно розвинутим оновленням ріжучого рельєфу, що зношується, показано технологічну перевагу у ресурсній працездатності алмазних кругів з більш загостреними зернами.

Ключові слова: алмазний шліфувальний круг, алмазне зерно, конічна модель зерна, кут заострення, сфероподібне згладжування вершини, стає шліфування, критерій Крагельського, ресурс круга, порівняльний розрахунок.

В геометрически определенной системе представления режущей части алмазного зерна и его расположения в шлифовальном круге, применительно к высокопроизводительным технологиям устойчивого алмазного шлифования со стабильно развивающимся обновлением изнашиваемого режущего рельефа показано технологическое превосходство в ресурсной работоспособности алмазных кругов с более заостренными зернами.

Ключевые слова: алмазный шлифовальный круг, алмазное зерно, коническая модель зерна, угол заострения, сфероподобное сглаживание вершины, устойчивое шлифование, критерий Крагельского, ресурс круга, сопоставительный расчет.

Technological superiority in the resource availability of diamond wheels with more pointed grains is shown in a geometrically defined system of representation of the cutting part of a diamond grain and its location in a grinding wheel, with respect to high-performance technologies of stable diamond grinding with a steadily developing renewal of the wearable cutting relief.

Key words: diamond grinding wheel, diamond grain, conical grain model, angle of sharpening, spherical smoothing of the top, stable grinding, Kragelsky criterion, wheel resource, comparative calculation.

Введение. Теоретические расчеты [1] указывают на существенное снижение параметра R_a шероховатости обработанной поверхности предварительным сглаживанием режущего рельефа шлифовального круга с образованием площадок износа на зёрнах абразива. Такое искусственное притупление режущих кромок алмазных зёрен кругов на металлических связках в управляемых процессах комбинированного шлифования, например, путем предварительного, с продольной подачей, шлифования кругом алмазного карандаша, позволяет одновременно решать задачи и высокого микрогеометрического качества обработанной поверхности, и достаточно высокой производительности обработки.

Об актуальности и практической востребованности исследований в этом направлении свидетельствует практика передовых предприятий. Так,

известен опыт совершенствования технологического процесса финишной обработки цилиндрической поверхности специальной твердосплавной развертки в условиях Харьковского машиностроительного завода «ФЭД», сокращающий его длительность и число операций (исключается притирка шлифованной поверхности алмазной пастой), обеспечивающий при этом не только требуемый уровень производительности, но и удовлетворяющий ограничениям по технологической себестоимости, точности и шероховатости обработанной поверхности. Этот положительный опыт сопряжен с высокой степенью управляемого затупления режущих зерен алмазного круга [2].

В таких технологических задачах следует учитывать необходимость ограничения притупления режущих зерен, а также корректного исходного выбора инструмента с алмазным шлифпорошком подходящей характеристики (марки и зернистости) из условия осуществимости процесса тонкого микрорезания и стружкообразования ими.

Для формулировки системы необходимых для этого условий воспользуемся известной расчетной схемой [3] (рис. 1) и будем исходить из классической формулировки И.В.Крагельского [4] достаточности глубины a_z внедрения абразивной частицы в материал для его микрорезания, если a_z превышает определенную часть радиуса R контактирующего выступа соответствующей конфигурации, т. е.:

$$(a_z/R) > [a_z/R], \quad (1)$$

где a_z – толщина среза, м; R – радиус округления вершины зерна, м;

$$[a_z/R] = 0,2 \dots 0,3 \quad (2)$$

согласно [4] или, с учетом научно-производственной практики алмазно-абразивных инструментов [5],

$$[a_z/R] = 0,1 \dots 0,5. \quad (3)$$

Взаимосвязям износа, стойкости и длительности эксплуатационной жизни алмазных шлифовальных кругов также предпослано множество исследований, например [6-8]. Для тематической дискуссии вокруг рассматриваемой здесь модели изнашивания алмазного зерна в круге

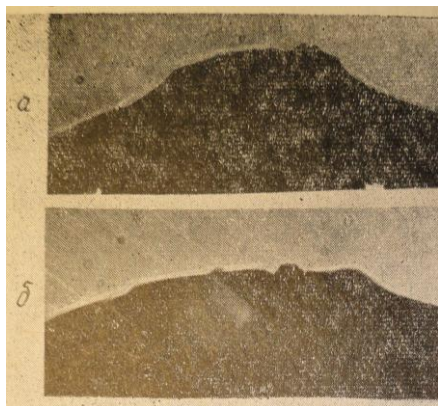


Рисунок 1 – Алмазное зерно AC32 до (а) и после (б) 750 мм пути резания [9]

в процессе шлифования привлечена одна из первых работ в этом направлении с зёрнами синтетических алмазов, выполненная в возглавляемой М.Ф. Семко научной школе физики процессов резания [9], рисунок 1.

Основные результаты и их обсуждение. Проблему соблюдения условия (1) рассмотрим во взаимосвязи со степенью затупления зерна η [10],

$$\eta = X / (X + a_z), \quad (4)$$

где X – величина линейного износа зерна, измеряемого от вершины описывающего зерно конуса, и углом при вершине зерна $\varepsilon = 2\gamma$ в его конусообразном представлении с закругленной вершиной (рис. 2).

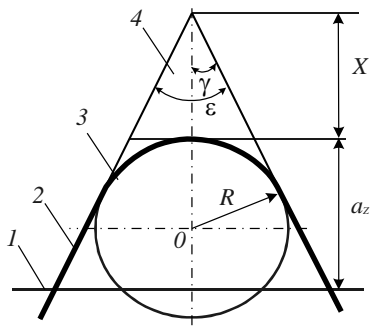


Рисунок 2 – Расчётная схема:

1 – уровень связки, 2 – контур зерна, 3 – сечение среза, 4 – изношенная часть зерна

Из определенности расчетной схемой по рисунку 2 тригонометрического соотношения для $\sin\gamma$ следует, что

$$X = R(\sin^{-1}\gamma - 1). \quad (5)$$

После подстановки (5) в (4) и преобразований получаем ключевое параметрическое соотношение (6) для определения в множестве переменных η и ε области осуществимости процесса тонкого микрорезания по известному (принятому) значению $[a_z/R]$:

$$(a_z/R) - ((1-\eta)(1-\sin\gamma)/\eta \cdot \sin\gamma) = 0. \quad (6)$$

Из (6), с учетом $\varepsilon = 2\gamma$, определяется значение η , являющееся его расчетным пределом $\lim \eta$. Необходимое условие эффективной эксплуатации шлифовального круга по известным $[a_z/R]$ и ε , с учетом $\varepsilon = 2\gamma$, соответственно имеет вид:

$$\eta < 1 / (1 + [a_z/R] \cdot \sin\gamma / (1 - \sin\gamma)). \quad (7)$$

Если по какому-нибудь критерию оптимизации установлено значение нормы η ($[\eta]$), а условие (7) для шлифовального круга с данной, используемой в расчетах на стадии проектирования технологической операции характеристикой зерен шлифпорошка (марка, зернистость), не выполнимо, то следует изменить выбор марки и (или) зернистости шлифпорошка с учетом известных данных об угловых характеристиках алмазных зерен [11]. При этом следует учитывать, что, как это следует из [12], варьирование зернистостью является более ощутимым резервом возможного затупления зерен (и потому наиболее полного использования сверхтвердых алмазных

абразивов), при котором процесс микрорезания (шлифования) еще осуществим.

На рисунке 3 показаны столбчатые диаграммы допустимой степени затупления зерна η в зависимости от нормы $[a_z/R]$ для ряда углов заострения зерен ε в диапазоне охвата массива баз данных Института сверхтвердых материалов НАН Украины для шлифпорошков из синтетических сверхтвердых материалов марочных составов от AC2 до AC15 и зернистостей от 50/40 до 250/200 [11]: по допустимости степени затупления режущие зерна наибольшей исходной остроты ($\varepsilon=90^\circ$) в рассматриваемом диапазоне углов заострения ε от 1,6 (для $[a_z/R]=0,1$) до 2,6 раз (для $[a_z/R]=0,5$) превосходят режущие зерна наименьшей исходной остроты ($\varepsilon=130^\circ$).

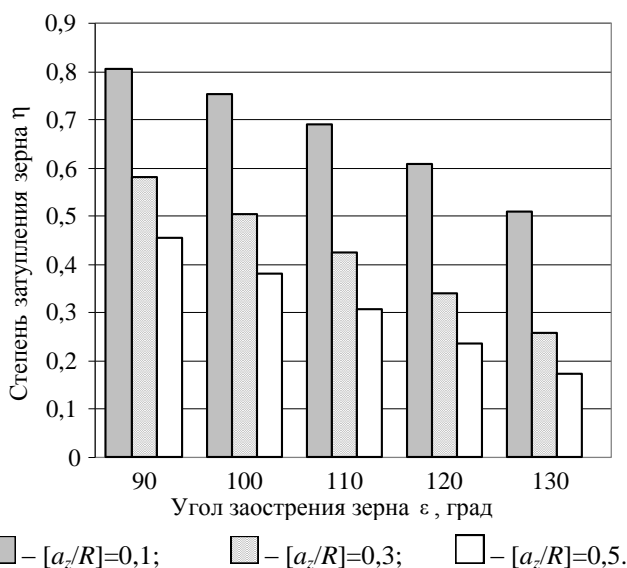


Рисунок 3 – Диапазон допустимой степени затупления зерна η в зависимости от угла заострения зерна ε для различных условий осуществления микрорезания по критерию отношения толщины среза к радиусу округления вершины зерна

Для представления о технико-экономических прогностических возможностях этого заключения обратимся к известной из моделирования процессов устойчивого во времени шлифования пропорциональности η отношению скоростей износа зерен ($V_{зеп}$) и связки ($V_{св}$) в направлении нормали к номинальной рабочей поверхности круга [13]:

$$\eta = V_{зеп} / V_{св} . \quad (8)$$

Тогда, в первом приближении полагая относительно незначимым влияние марки и зернистости алмазного шлифпорошка на $V_{\text{зер}}$, во всяком случае зернистости в шлифпорошках данной марки, в пределе допустимого износа в кругах зерен с различной исходной остротой при обеспечении стабильности во времени выходных показателей шлифования объектов идентичной обрабатываемости и в кинематико-геометрически идентичных рабочих процессах имеем:

$$[\eta_1]/[\eta_2] = V_{\text{св}2}/V_{\text{св}1} . \quad (9)$$

Памятуя далее, что различие в эксплуатационном ресурсе T различных шлифовальных кругов с одной и той же толщиной S абразивосодержащего слоя при некоторой известной постоянной или усредненной скорости износа связки определяется именно величиной этой скорости, для i -го случая

$$T_{(i)} = S / V_{\text{св}(i)} , \quad (10)$$

после преобразования (10) относительно $V_{\text{св}(i)}$ и подстановки в (9) получаем:

$$T_1/T_2 = [\eta_1]/[\eta_2] . \quad (11)$$

В практике исследований влияние формы алмазного зерна на износостойкость круга рассматривается как важная самостоятельная задача [14]. Выбор формы зерна во многом предопределяет успех моделирования алмазно-абразивной обработки, существенен в расчетно-экспериментальных исследованиях ее микрогеометрической наследственности как результата единичных актов резания-царапания.

В вышеупомянутой экспериментально-расчетной практике [9], которая была постановочно заинтересована в минимальном нагружении алмазного зерна для превалирования нормального контактного износа без скольных дефектов режущей поверхности, экспериментатору удалось добиться устойчивого микрорезания с фиксированной глубиной 10 мкм. Обращаясь к исходно принятой им шарообразной форме зерна, диаметр 340 мкм [9], это почти вдвое меньше допустимого расчетом по нижней границе расширенного условия Крагельского (3). Однако шарообразной форма реального алмазного зерна, даже при селективном отборе по форме, может быть принята лишь «с некоторым допущением» [9]. Степень этого допущения применительно к расчетному прогнозированию минимально допустимой начальной глубины микрорезания в экспериментально-расчетной практике [9] можно оценить исходя из внимательного прочтения привершинного угла заострения зерна ($\sim 90^\circ$, рис. 1, а), использованного ею в экспериментальном изучении износа. Не случайно расчет сечения рисков-царапин исходно «шарообразного» алмазного зерна на твердосплавных пластинках автор [9] ведет не как диаметральное сечения шарового слоя, а как поперечного сечения призмы.

Оценивая затем соотношение длин горизонтальных приближений видимых проекций привершинных площадок, исходной (рис. 1, а) и после первых 750 мм пути резания (рис. 1, б), примерно как $2,5 : 3,5$, поставим и решим здесь тригонометрическую задачу отыскания неизвестного R , используя контур расчетной схемы по рисунку 2 для $\varepsilon = 90^\circ$ ($\gamma = 45^\circ$) и полагая X высотным недостатком исходного профиля зерна по (рис. 1, а) до полного конуса, а a_z – размерным износом после первых 750 мм пути резания ($a_z = 41$ мкм [9]). Тогда в рассмотрении подобных привершинных треугольников заимствованной расчетной схемы по рисунку 2 справедливо соотношение $(X + 41 \text{ мкм}) : X = 3,5 : 2,5$, откуда $X \approx 100$ мкм. Тут же, из прямоугольного треугольника с катетами R (привершинный отрезок образующей полного конуса до точки касания с вписанной в привершинную часть усеченного конуса сферой и ее радиус-вектор к этой же точке) и гипотенузой $(R + X)$, из тригонометрического соотношения $\sin \gamma = R / (R + X)$, использованного выше при выводе (5), и при $\gamma = 45^\circ$, $X = 100$, получаем $R \approx 240$ мкм. И те же 10 мкм заданной глубины резания – это уже более чем вдвое меньше допустимого расчетом по нижней границе расширенного условия Крагельского (3). Следовательно, исходя из базы экспериментальных данных [9] и приведенных здесь аналитических выкладок, для контактной интервенции в твердые тела синтетическими алмазами можно предложить смягчить четверо нижнюю границу в условии Крагельского (2) из [4] и вдвое в его расширенной версии (3) по [5], то есть до 0,05. Тогда расширенная форма (3) примет вид

$$[a_z/R] = 0,05 \dots 0,5, \quad (12)$$

согласуется с опытной практикой [9] и позволяет дополнить ранее созданные информационные массивы [12, 15] прогностических расчетов новыми данными.

Из (11) следует, что допустимая степень затупления зерна η является пропорциональным отражением ресурсного потенциала шлифовального круга. Это позволяет интерпретировать отображенные на рисунке 3 полученные расчетные результаты с позиций соответствующего прогноза в сопоставимых кинематико-геометрически и по обрабатываемости условиях шлифования алмазными кругами, использующими шлифпорошки с различной остротой алмазных зерен, таблица 1. В таблице 1 приводятся также предельные значения η для нижнего предела предложенного здесь расширения (12). Аналогично, в соответствии с изложенным выше подходом и согласно данным [11] об углах заострения синтетических алмазных зерен, в таблице 2, в пределах каждой из приведенных в ней марок, представлен пример прогноза относительного ресурсного потенциала использующих алмазные шлифпорошки этих марок и зернистостей инструментов.

Таблица 1 – Сравнение ресурсного потенциала алмазных шлифовальных кругов с различной остротой зерен используемого шлифпорошка, %

Критерий Крагельского [a_z/R]	Угол заострения алмазного зерна ϵ , град.				
	90	100	110	120	130
0,05	100	96,3	91,4	84,7	75,5
0,1	100	93,5	85,4	75,4	63,1
0,2	100	89,6	77,8	64,7	50,5
0,3	100	87,0	73,1	58,7	44,2
0,5	100	83,7	67,6	52,2	37,8

Таблица 2 – Внутримарочный прогноз относительного ресурса алмазных инструментов по данным [11] об остроте зерен, %

Марка шлиф- порошка	Критерий Крагельского [a_z/R]	Зернистость шлифпорошка, мкм				
		125/100	100/80	80/63	63/50	50/40
AC2	0,05	93,4	95,4	100	94,1	93,4
	0,1	89,2	86,5	100	90,3	89,2
	0,2	83,9	88,5	100	85,5	83,9
	0,3	80,9	86,2	100	82,6	80,9
	0,5	77,4	83,5	100	79,4	77,4
AC4	0,05	95,1	86,0	95,1	96,6	100
	0,1	92,0	78,5	92,0	94,4	100
	0,2	88,4	70,5	88,4	91,8	100
	0,3	86,3	66,4	86,3	90,2	100
	0,5	83,9	62,1	83,9	88,4	100

Как следует из таблицы 1, зависимость эксплуатационного ресурса алмазных шлифовальных кругов от исходной остроты режущих кромок используемых ими зерен сверхтвердого абразива с понижением порога [a_z/R] ослабевает: в рассмотренном диапазоне углов заострения от 90° до 130° относительное рассеивание границ ресурсного диапазона вокруг среднего арифметического для [a_z/R] = 0,05 составляет около 14 %, тогда как для [a_z/R] = 0,5 – уже более 45 %, т. е. со средним относительным расширением примерно полтора процента на градус угла заострения зерен в диапазоне этой характеристики для данных зернистостей алмазных шлифпорошков. Соответственно меньшие отклонения расчетных значений относительного ресурса наблюдаем внутри информационного массива прогностик использования шлифовальных порошков различных зернистостей данной марки синтетических алмазов, характеризующихся [11] определенными углами заострения алмазных зерен, при понижении порога [a_z/R]

осуществимости съема материала контртела микрорезанием-царапанием, таблица 2.

Следует заметить, что в рассматриваемой задаче ограничения алмазодержания зерен в связке не принимались во внимание, поскольку она обращена прежде всего к чистовому шлифованию с незначительными толщинами единичных срезов и потому повышенным риском отсутствия резания в контактах зерен с обрабатываемым материалом, особенно с выраженными упруго-пластичными свойствами и при использовании в круге алмазных порошков повышенной зернистости.

Выводы. Предложен и расчетно реализован теоретический подход к оценке влияния угла заострения алмазного зерна на ресурс шлифовального круга в целом из условия полного использования режущих возможностей зерен, моделируемых выпуклым телом со сферической вершиной и конической боковой поверхностью. Расчет использует критерий осуществимости резания И.В. Крагельского и выполнен в версии радиальной направленности оси симметрии и равенства углов наклона боковых поверхностей зерен в круге. Применительно к высокопроизводительным технологиям устойчивого алмазного шлифования со стабильно развивающимся обновлением изнашиваемого режущего рельефа показано технологическое превосходство в ресурсной работоспособности алмазных кругов с более заостренными зернами.

Геометрию заострений зерен алмазного шлифпорошка следует рассматривать как один из факторов, определяющих время его работоспособного состояния. Безусловно, что случайность положения алмазного зерна в связке вне целенаправленного ориентирования, как это предлагается [16] и нередко практикуется [17], смягчает влияние модалного или среднестатистического заострения кромок на износостойкость зерна, но не снимает тенденцию предпочтительности алмазным порошкам, обеспечивающим повышенный эксплуатационный ресурс инструмента.

Приведенные расчетные подходы и результаты могут использоваться как в поиске организационно-технологических резервов усовершенствования существующих технологий, так и в проектных разработках шлифовальных операций новых механообрабатывающих производств, а также в теоретических исследованиях оптимизации инструментального обеспечения и рабочих процессов шлифования.

Заключение. Представленной статьей предпринята попытка преемственного рассмотрения технологической задачи оценки и анализа работоспособности и износа алмазных зерен шлифовального круга с позиции ее природы в микрорезании и, в развитие задачи и на началах микроскопического подхода, определения пути ее решения для инструмента в целом как макрообъекта с множеством разновысотно расположенных в связке рабочего слоя алмазных зерен.

Рассмотренные в статье результаты и их обсуждение отнюдь не преследовали цель сколько-нибудь всестороннего анализа расчетно-экспериментального исследования [9], к чести его автора представленного с полной постановочной ясностью. К анализу и обсуждению здесь вовлечено из него необходимое в тему. Хотя можно, конечно, дискутировать вокруг методики эксперимента, послужившего основой [9]. Например, трудно представить технологическую операцию алмазно-абразивной обработки торцем круга в промышленной практике, проведение которой потребовало бы следящей подналадки по глубине с каждым оборотом инструмента. С другой стороны, такая схема периодического нагружения единичного зерна той же толщиной среза определенной мерой имитирует реальный процесс массового микрорезания зернами шлифовального круга, когда съем припуска на обработку разделяется между участвующими разновысотными зернами.

Можно, конечно, заметить несколько спорный характер сделанного по результатам профилографических и микроскопических наблюдений утверждения [9], что «глубина вдоль одного среза зерна, т. е. на длине 30 мм, изменяется незначительно», поскольку, например, для первых 25-ти резцов общий размерный износ алмазного зерна 41 мкм, соответственно средний на один рез 1,6-1,7 мкм, т. е. порядка 15 % от установленной глубины резания (10 мкм).

И можно порадоваться следующей из методической постановки и результатов [9] экспериментальной поддержке математической организации подхода [13] к моделированию износа алмазных шлифовальных кругов и устойчивого процесса обработки ими, одним из краеугольных постулатов которого является независимость скорости линейного износа зерна от степени его износа, из рассмотрения ряда величин линейно последовательного износа зерна в интервалах 750 мкм пути резания (после отбрасывания наибольшего и наименьшего значений – в интервале с менее чем 15 % рассеиванием границ вокруг одного значения). Спасибо за науку! И пусть вы не всегда правы, уважаемый Матвей Данилович, впрочем это субъективно, но вы профессор по сути своей деятельности и ее результатам, и зримо ощущать ваше деятельное присутствие в науке о резании металлов и сплавов вообще и алмазно-искровом шлифовании в особенности дорогого стоит. Творческих находок вам на 85-м годовике жизни и еще многих лет неуспокоенности и удач на научной стезе!

В курганах современной научно-технической литературы, пронизанной вождением коммерциализации, демонстрируемая [9] скрупулезность с пониманием важности в мелочах крайне редка. Работы старых мастеров надо не почитать, а читать, как от одного предметного случая к другому иногда приговаривает молодым коллегам один из них, автор [9]. Здесь справедливо и важно заметить, что благодарное обращение к раритетной статье [9] с полувековой историей – это также и благодарное обращение к

опубликовавшему ее сборнику «Резание и инструмент в технологических системах» (тогда – «Станки и режущие инструменты», выпуск «Алмазная обработка материалов»), юбилейный 100-й и 101 выпуски которого в сквозной нумерации приходятся на текущий 2018 год.

Статья посвящается профессору Матвею Даниловичу Узуняну, молодым доцентом блестяще ассистирующему профессору Михаилу Федоровичу Семко и вместе с ним преподававшему ее автору в студенчестве лекционный курс и лабораторный практикум по резанию материалов, с легкостью и щедростью настоящего мастера во все известные автору этих строк времена, а это уже без малых 15 % полвека, наводящему своим ученикам мосты из науки прошлого в современную прагматику научно-производственных вызовов, с непринужденной ясностью и простотой побуждавшему задумываться о профессии в себе и о себе в профессии. Когда б все ученики, и автор этих строк в том числе, всегда могли отличить в науке подлинно большое от бесконечно малого и всегда ответствовали честнотам мудрости своих учителей...

Список использованных источников: 1. Дитиненко, С.А. Условия повышения чистоты обработки при шлифовании алмазными кругами на металлических связках / С.А. Дитиненко, Ю.Г. Гуцаленко, Ф.В. Новиков // Резание и инструмент в технологических системах : Междунар. науч.-техн. сб. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2003. – Вып. 64. – С. 69-74. 2. Дитиненко, С.О. Підвищення ефективності технології фінішної обробки циліндричних поверхонь твердосплавних виробів : Автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 – технологія машинобудування / С.О. Дитиненко [наук. кер. Ф. В. Новиков]; Нац. техн. ун-т «Харк. політехн. ін-т». – Х., 2005. – 20 с. 3. Новиков, Ф.В. Кинематика образования шероховатости поверхности при шлифовании / Ф.В. Новиков // В кн.: Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В 10-ти томах. – Т.6 : Качество обработки деталей машин. – Одесса : ОНПУ, 2003. – С. 86-143. 4. Крагельский, И.В. Трение и износ / И.В. Крагельский. – М.: Машгиз, 1962. – 384 с. 5. Семко, М.Ф. Основы алмазного шлифования / М.Ф. Семко, А.И. Грабченко, А.Ф. Раб, М.Д. Узунян, М.С. Пивоваров. – Киев : Техника, 1978. – 192 с. 6. Burls, J. Diamond Grinding (Mechanics Engineering Monograph) / J. Burls. – North Sydney : Mills & Boon, 1972. – 64 p. 7. Лоладзе, Т.Н. Износ алмазов и алмазных кругов / Т.Н. Лоладзе, Г.В. Бокучава. – М.: Металлургия, 1972. – 543 с. 8. Яцерицын, П.И. Повышение качества шлифованных поверхностей и режущих свойств абразивно-алмазного инструмента / П.И. Яцерицын, А.Г. Зайцев. – Минск : Наука и техника, 1972. – 480 с. 9. Узунян, М.Д. Износ единичных алмазных зерен / М.Д. Узунян // Станки и режущие инструменты. – 1968. – Вып. 7 : Алмазная обработка материалов. – С. 15-19. 10. Новиков, Ф.В. Физические и кинематические основы высокопроизводительного алмазного шлифования : Автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.02.08 – технология машиностроения, 05.03.01 – процессы механической обработки, станки и инструменты / Ф.В. Новиков; Одесский гос. политехн. ун-т. – Одесса, 1995. – 36 с. 11. Никитин, Ю.И. Порошки и пасты из синтетических алмазов / Ю.И. Никитин, С.М. Уман, Л.В. Коберниченко, Л.М. Мартынова. – Киев : Наук. думка, 1992. – 284 с. 12. Гуцаленко, Ю.Г. Модель шлифования : проверка выполнения условия стружкообразования / Ю.Г. Гуцаленко // Вісн. Нац. техн. ун-ту „Харк. політехн. ін-т”. Зб. наук. пр. Темат. вип. : Технології в машинобудуванні. – 2005. – № 12. – С. 51-63. 13. Новиков, Ф.В. Разработка аналитической модели устойчивого во времени процесса алмазного шлифования / Ф.В. Новиков, Ю.Г. Гуцаленко // Вісн. Нац. техн. ун-ту „Харк. політехн. ін-т”. Зб. наук. пр. Темат. вип. : Технології в машинобудуванні. – 2005. – № 24. – С. 138-148. 14. Зайцев, А.Г. Влияние формы алмазного зерна на износостойкость круга при шлифовании твёрдых сплавов / А.Г. Зайцев

// Вестник машиностроения. – 1975. – № 2. – С. 76–77. **15.** Гуцаленко, Ю.Г. Модель, условия и прогностические следствия осуществимости чистового алмазного шлифования кругами с режущими зернами различного заострения и притупления / Ю.Г. Гуцаленко // Инновации, качество и сервис в технике и технологиях : Сб. науч. тр. 4-ой междунар. науч.-практ. конф. 4-5 июня 2014 г. – В 3-х т. – Курск : Юго-Зап. гос. ун-т, 2014. – Т. 1. – С. 171-175. **16.** Маслов, Е.Н. Основные направления в теории резания абразивным, алмазным и эльборовым инструментом / Е.Н. Маслов, Н.В. Постникова. – М. : Машиностроение, 1975. – 48 с. **17.** Коротков, А.Н. Повышение эксплуатационных возможностей шлифовальных инструментов / А.Н. Коротков. – Кемерово : КузГТУ, 2005. – 232 с.

Bibliography (transliterated): **1.** Ditinenko, S.A., Yu.G. Gutsalenko, and F.V. Novikov “Usloviya povysheniya chistoty obrabotki pri shlifovanii almaznymi krugami na metallicheskih svyazkah”. *Rezanie i instrument v tehnologicheskikh sistemah*. 2003. Iss. 64. 69-74. Print. **2.** Ditinenko, S.A. *Pidvischennya efektyvnosti tehnologiyi finishnoyi obrobki tsilindrichnih poverhon tverdospлавnih virobiv. Avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk.* Kharkov, 2005. Print. **3.** Novikov, F.V. “Kinematika obrazovaniya sherohovatosti poverhnosti pri shlifovanii”. In the 10-vol. ed.: *Fiziko-matematicheskaya teoriya processov obrabotki materialov i tekhnologii mashinostroeniya*. Vol. 6: *Kachestvo obrabotki detalej mashin*. Ed. by F.V. Novikov and A.V. Yakimov. Odessa: ONPU, 2003. 86-143. Print. **4.** Kragelskiy, I.V. *Trenie i iznos*. Moscow: Mashgiz, 1962. Print. **5.** Semko, M.F., et al. *Osnovy almaznogo shlifovaniya*. Kiev: Tehnika, 1978. Print. **6.** Burls, J. *Diamond Grinding (Mechanics Engineering Monograph)*. North Sydney: Mills & Boon, 1972. Print. **7.** Loladze, T.N., and G.V. Bokuchava. *Iznos almazov i almaznyih krugov*. Moscow: Metallurgiya, 1972. Print. **8.** Yascheritsyn, P.I., and A.G. Zaytsev. *Povyshenie kachestva shlifovannykh poverhnostey i rezhushchih svoystv abrazivno-almaznogo instrumenta*. Minsk Nauka i tehnika. 1972. Print. **9.** Uzunyan, M.D. “Iznos edinichnykh almaznykh zeren”. *Stanki i rezhushchie instrumenty*. 1968. Iss. 7. 15-19. Print. **10.** Novikov, F.V. *Fizicheskie i kinematicheskie osnovy vysokoproizvoditelnogo almaznogo shlifovaniya. Avtoref. dis. ... d-ra tehn. nauk.* Odessa, 1995. Print. **11.** Nikitin, Yu.I., et al. *Poroshki i pastyi iz sinteticheskikh almazov*. Kiev: Nauk. dumka, 1992. Print. **12.** Gutsalenko, Yu.G. “Model shlifovaniya : proverka vyipolneniya usloviya struzhkoobrazovaniya”. *Visn. Nat. techn. un-ty „Khark. politechn. in-t”*. Zb. nauk. pr. Temat. vip.: *Technologiyi v mashinobuduvanni*. 2005, Iss. 12, 51-63. Print. **13.** Novikov, F.V., and Yu.G. Gutsalenko. “Razrabotka analiticheskoy modeli ustoychivogo vo vremeni protsessu almaznogo shlifovaniya”. *Visn. Nat. techn. un-ty „Khark. politechn. in-t”*. Zb. nauk. pr. Temat. vip.: *Technologiyi v mashinobuduvanni*. 2005, Iss. 24, 138-148. Print. **14.** Zaytsev, A.G. “Vliyanie formy almaznogo zerna na iznosostoykost kruga pri shlifovanii tverdykh spлавov”. *Vestnik mashinostroeniya*. 1975, No. 2, 76-77. Print. **15.** Gutsalenko, Yu.G. “Model, usloviya i prognosticheskie sledstviya osuschestvlenosti chistovogo almaznogo shlifovaniya krugami s rezhushchimi zernami razlichnogo zaostreniya i pritupleniya.” *Innovatsii, kachestvo i servis v tehnike i tehnologiyah: Sb. nauch. tr. 4-oy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 4-5 iyunya 2014 g.* In 3 Vs. Kursk: Yugo-Zap. gos. un-t, 2014. V. 1. 171-175. **16.** Maslov, E.N., and N.V. Postnikova. *Osnovnyye napravleniya v teorii rezaniya abrazivnyim, almaznym i elborovym instrumentom*. Moscow: Mashinostroenie, 1975. Print. **17.** Korotkov, A.N. *Povyshenie ekspluatatsionnykh vozmozhnostey shlifovalnykh instrumentov*. Kemerovo: Kemerovo : KuzGTU, 2005. Print.

Поступила в редколлегию 25.06.2018